

**This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

**Defective images within this document are accurate representations of
the original documents submitted by the applicant.**

Defects in the images may include (but are not limited to):

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 03-267902

(43)Date of publication of application : 28.11.1991

(51)Int.Cl.

G02B 6/12

(21)Application number : 02-179467

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>

(22)Date of filing : 09.07.1990

(72)Inventor : INOUE YASUYUKI
OKUNO MASAYUKI
KAWACHI MASAO

(30)Priority

Priority number : 02 42538

Priority date : 26.02.1990

Priority country : JP

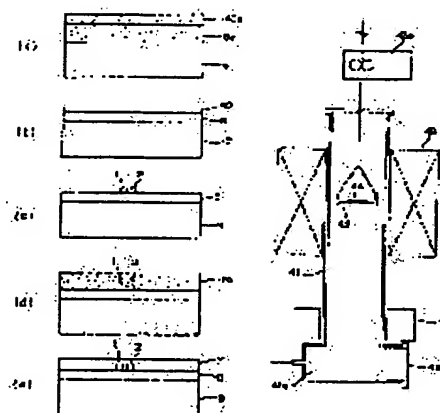
(54) METHOD FOR ADJUSTING CHARACTERISTIC OF OPTICAL WAVEGUIDE CIRCUIT
AND OPTICAL WAVEGUIDE CIRCUIT USED IN THIS METHOD

(57)Abstract:

PURPOSE: To allow the exact adjustment of the coupling rate of an optical directional coupler and the optical path length of optical waveguides by applying heat to regions including the core parts of clad layers to generate a heat history, thereby changing the refractive index of the regions.

CONSTITUTION: The effective refractive indices of the optical waveguides 1, 2 which are embedded in the clad layers 7, 8 or clad layer 7 disposed on, for example, a silicon substrate 9 and have the effect of propagating light are changed by utilizing the heat history of this material. The entire part of the optical waveguide circuit is subjected to a heating treatment in electric furnaces 41 to 45. The desired points of the optical waveguide circuit are otherwise subjected to the local heating treatment by the heat resistant heaters provided at the desired points on the optical waveguide circuit or irradiation with an energy beam.

The heat history refers to a phenomenon that the refractive index value of the material of the clad layers 7, 8 or core parts 1, 2 of the optical waveguides 1, 2 varies with cooling conditions after heating to a high temp. The coupling rate of the directional coupler to be constituted in proximity to two pieces of the optical waveguides 1, 4 after the production of the optical waveguides is exactly adjusted in this way.



(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 3 - 2 6 7 9 0 2

(43) 公開日 平成3年 (1991) 11月28日

(51) Int. Cl. ⁵

G 0 2 B . 6/12

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 1 0

(全 2 6 頁)

(21) 出願番号 特願平 2 - 1 7 9 4 6 7

(22) 出願日 平成2年 (1990) 7月9日

(31) 優先権主張番号 P 0 2 0 4 2 5 3 8

(32) 優先日 平 2 (1 9 9 0) 2 月 2 6 日

(33) 優先権主張国 在外邦人・日本 (J P)

(71) 出願人 999999999

日本電信電話株式会社

東 京

(72) 発明者 井上 靖之

*

(72) 発明者 奥野 将之

*

(72) 発明者 河内 正夫

*

(54) 【発明の名称】 光導波回路の特性調整方法およびその方法に使われる光導波回路

(57) 【要約】

【産業上の利用分野】 基板上に光導波路を配設した光導波回路の特性調整方法および光導波回路に関する

【目的】 光導波路材料の熱履歴現象を利用することにより、導波路型方向性結合器の結合率の調節、または光導波路の光路長の調節を行い、ひいては光集積回路の回路特性の制御を行うことができる方法を提供する

【効果】 波長無依存カプラや光スイッチ、光周波数多重光合分波器等の光干渉原理を用いた集積光デバイスの特性向上や新デバイスの創出に多いに資する

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 1) 基板と、該基板上に形成されたクラッド層と、該クラッド層に埋め込まれたコア部からなる 1 または 2 以上の光導波路を有する光導波回路の特性を調整する方法であって、前記クラッド層の前記コア部を含む領域の少なくとも一ヶ所に熱を加えることにより熱履歴現象を生じさせ、前記領域の屈折率を変化させることを特徴とする光導波回路の特性調整方法。

【請求項 2】 2) 前記クラッド層は組成の異なる下部クラッド層および上部クラッド層とからなり、前記コア部は上部クラッド層に埋め込まれ、前記コア部を含む上部クラッド層および下部クラッド層全体に熱を加えることにより、前記上部クラッド層の前記コア部を含む領域に熱履歴現象を生じさせ、前記領域の屈折率を変化させることを特徴とする請求項 1 に記載の光導波回路の特性調整方法。

【請求項 3】 3) 前記コア部を含むクラッド層の表面に熱を加えることにより、前記クラッド層表面近傍の前記コア部を含む領域の少なくとも一ヶ所に熱履歴現象を生じさせ、前記領域の屈折率を変化させることを特徴とする請求項 1 に記載の光導波回路の特性調整方法。

10

20

30

【請求項 4】 4) 前記光導波回路は、2 以上の光導波路が少なくとも一ヶ所で近接して配置された方向性結合器を有し、該方向性結合器の結合部に熱を加えることにより熱履歴現象を生じさせ、前記領域の屈折率を変化させ、前記方向性結合器の結合率を調整することを特徴とする請求項 1、2 または 3 に記載の光導波回路の特性調整方法。

【請求項 5】 5) 前記領域の屈折率を変化させることにより光路長を調整することを特徴とする請求項 1、2 または 3 に記載の光導波回路の特性調整方法。

【請求項 6】 6) エネルギービームを照射することにより熱を加え、熱履歴現象を生じさせることを特徴とする請求項 1、2、3、4 または 5 に記載の光導波回路の特性調整方法。

【請求項 7】 7) 1 または複数個の耐熱ヒータにより熱を加え、熱履歴現象を生じさせることを特徴とする請求項 1、2、3、4 または 5 に記載の光導波回路の特性調整方法。

【請求項 8】 8) 基板と、該基板上に形成されたクラッド層と、該クラッド層に埋め込まれたコア部からなる 1 または 2 以上の光導波路を有する光導波回路であって、前記クラッド層の前記コア部を含む領域の少なくとも一ヶ所に熱履歴現象による屈折率の変化領域を有することを特徴とする光導波回路。

【請求項 9】 9) 前記クラッド層が上部クラッド層と下部クラッド層とからなり、該上部クラッド層は該下部クラッド層に比べて多量のドーパントを含むことを特徴とする請求項 8 に記載の光導波回路。

【請求項 10】 10) 前記領域に熱履歴現象を生じさせるための 1 または複数個の耐熱ヒータを有することを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の光導波回路。

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑪ 公開特許公報(A) 平3-267902

⑫ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成3年(1991)11月28日

G 02 B 6/12

M
D7036-2K
7036-2K

審査請求 未請求 請求項の数 10 (全26頁)

⑭ 発明の名称 光導波回路の特性調整方法およびその方法に使われる光導波回路

⑮ 特 願 平2-179467

⑯ 出 願 平2(1990)7月9日

優先権主張 ⑰ 平2(1990)2月26日 ⑱ 日本(JP) ⑲ 特願 平2-42538

⑳ 発 明 者 井 上 靖 之 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

㉑ 発 明 者 奥 野 将 之 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

㉒ 発 明 者 河 内 正 夫 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

㉓ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉔ 代 理 人 弁理士 谷 義 一

明 細 書

1. 発明の名称

光導波回路の特性調整方法および
その方法に使われる光導波回路

2. 特許請求の範囲

1) 基板と、該基板上に形成されたクラッド層と、該クラッド層に埋め込まれたコア部からなる1または2以上の光導波路を有する光導波回路の特性を調整する方法であって、前記クラッド層の前記コア部を含む領域の少なくとも一ヶ所に熱を加えることにより熱履歴現象を生じさせ、前記領域の屈折率を変化させることを特徴とする光導波回路の特性調整方法。

2) 前記クラッド層は組成の異なる下部クラッド層および上部クラッド層とからなり、前記コア部は上部クラッド層に埋め込まれ、前記コア部を含む上部クラッド層および下部クラッド層全体に熱

を加えることにより、前記上部クラッド層の前記コア部を含む領域に熱履歴現象を生じさせ、前記領域の屈折率を変化させることを特徴とする請求項1に記載の光導波回路の特性調整方法。

3) 前記コア部を含むクラッド層の表面に熱を加えることにより、前記クラッド層表面近傍の前記コア部を含む領域の少なくとも一ヶ所に熱履歴現象を生じさせ、前記領域の屈折率を変化させることを特徴とする請求項1に記載の光導波回路の特性調整方法。

4) 前記光導波回路は、2以上の光導波路が少なくとも一ヶ所で近接して配置された方向性結合器を有し、該方向性結合器の結合部に熱を加えることにより熱履歴現象を生じさせ、前記領域の屈折率を変化させ、前記方向性結合器の結合率を調整することを特徴とする請求項1、2または3に記載の光導波回路の特性調整方法。

特開平3-267902 (2)

5) 前記領域の屈折率を変化させることにより光路長を調整することを特徴とする請求項1、2または3に記載の光導波回路の特性調整方法。

6) エネルギービームを照射することにより熱を加え、熱履歴現象を生じさせることを特徴とする請求項1、2、3、4または5に記載の光導波回路の特性調整方法。

7) 1または複数個の耐熱ヒータにより熱を加え、熱履歴現象を生じさせることを特徴とする請求項1、2、3、4または5に記載の光導波回路の特性調整方法。

8) 基板と該基板上に形成されたクラッド層と、該クラッド層に埋め込まれたコア部からなる1または2以上の光導波路とを有する光導波回路であって、前記クラッド層の前記コア部を含む領域の少なくとも一ヶ所に熱履歴現象による屈折率の変化領域を有することを特徴とする光導波回路。

3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は、基板上に光導波路を配設した光導波回路の特性調整方法および光導波回路に関するもので、さらに詳細には、光導波回路材料の熱履歴現象を利用してその屈折率を変化させることによって、光方向性結合器の結合率や光導波路の光路長を調整することを特徴とする光導波回路の特性調整方法および光導波回路に関するものである。

[従来の技術]

平面基板上に作製される単一モード光導波路、特にシリコン基板や石英ガラス基板上に作製可能な石英系ガラス単一モード光導波路は、そのコア部の断面寸法を通常使用されている単一モード光ファイバに合わせて5~10 μ m程度に設定することができるため、光ファイバとの整合性に優れた実用的な導波型光部品(光導波回路)の実現手段として期待されている(例えば、N.Takato et

路。

9) 前記クラッド層が上部クラッド層と下部クラッド層とからなり、該上部クラッド層は該下部クラッド層に比べて多量のドーパントを含むことを特徴とする請求項8に記載の光導波回路。

10) 前記領域に熱履歴現象を生じさせるための1または複数個の耐熱ヒータを有することを特徴とする請求項8または9に記載の光導波回路。

(以下余白)

al.: "Silica-Based Single-Mode Waveguides on Silicon and Their Application to Guided-Wave Optical Interferometers", J.Lightwave Tech., vol.5, pp.1003-1010, 1988, あるいは、河内正夫: "石英系光導波路と集積光部品への応用", 光学, 18(1989)681-686.を参照のこと)。

- 従来例1 -

第25図および第26図は、このような石英系単一モード光導波路を用いた最も基本的な光導波回路例としての方向性結合器の構成を説明するための、それぞれ斜視図およびそのAA'切断線に沿った拡大断面図である。石英系単一モード光導波路1、2は、一部分で互いに近接して方向性結合器5を構成している。

9はシリコン基板である。光導波路1、2は、シリコン基板9上で、膜厚50 μ m程度 SiO₂系ガラスクラッド層7、8に埋設された断面寸法7×7 μ m程度 SiO₂-TiO₂系あるいはSiO₂-GeO₂系

特開平3-267902(3)

ガラスコア部からなる。方向性結合器5部分は、2本の光導波路1, 2を間隔数 μ 程度に保ち、 $500\ \mu$ 程度の距離にわたって平行に配置することにより構成されている。入力ポート1aから光導波路1に入射した信号光の一部は、方向性結合器5部分で隣接する光導波路2に移行し、出力ポート1b, 2bから出射される。なお、1a'および1b', 2b'はそれぞれ入力ファイバおよび出力ファイバであり、P1およびP2はそれぞれ出力ポート1b, 2bから出射される信号光強度を表す。

ここで、方向性結合器5の結合率Cは

$$C = P2 / (P1 + P2)$$

で定義され、所望の結合率(例えば、50%結合)を得るために、結合器5部分での2本の光導波路1および2の間隔や結合距離等を正確に設定する必要がある。

-従来例2-

第27図および第28図は、シリコン基板上で2個の方向性結合器を累積して構成した光導波回路の

結合器5, 6を連結する2本の導波路の長さは等しく設定され、一方の導波路上の上部クラッド層7表面に非晶質シリコン(a-Si)を用いた応力付与膜22を設け、他方には薄膜ヒータ移相器10が設けられている。但し、21はa-Si応力付与膜22の一部をエネルギービームでトリミングして除去した跡である。

この応力付与膜22と薄膜ヒータ移相器10とを制御することによって、例えばTEモードの光にとっては方向性結合器5, 6を連結する2本の導波路間の光路長差が $n\lambda$ となり、TMモードの光にとってはその光路長差が $(m+1/2)\lambda$ となるよう複屈折値および光路長を調節する方法が特開昭64-77002号に提案されている。但し n, m は任意の整数、 λ は光の波長である。

この偏波ビームスプリッタでは、入力ポート1aから入射したTEモードの信号光は出力ポート1bから出力されて、入力ポート1aから入射されたTMモードの信号光は出力ポート2bから出力される。なお1a', 2b'はそれぞれ入力ファイバおよび出力

従来例としての偏波ビームスプリッタの構成を説明するための、それぞれ、斜視図およびそのAA'切断線に沿った拡大断面図である。

第27図および第28図において、上記と同様に8はシリコン基板、1および2はシリコン基板上に石英系ガラス材料により形成された石英系単一モード光導波路である。光導波路1, 2は、2箇所で互いに近接して方向性結合器5および6を構成し、その結合率はいずれも50%になるよう設計されている。

光導波路1, 2は、膜厚 $50\ \mu$ 程度のSiO₂系ガラスクラッド層7, 8に埋設された断面寸法 $7 \times 7\ \mu$ 程度のSiO₂-TiO₂系またはSiO₂-GeO₂系ガラスコア部からなり、方向性結合器5, 6部分は、2本の光導波路1, 2を間隔数 μ 程度に保ち、 $500\ \mu$ 程度の距離にわたって平行に配置することにより構成されている。ここで、2個の方向性結合器5および6は、光導波路1および2で連結され一種のマッハツェンダー光干渉計回路を構成していると見ることもできる。2つの方向性

ファイバである。

第28図は入力ポート1aからTE, TMモードの信号光を等パワーで入力して、薄膜ヒータ移相器10の駆動電力を変化させたときの出力ポート1bおよび2bからの出力の状態を示している。ここで、実線は出力ポート1bからの出力光P1、破線は出力ポート2bからの出力光P2を示している。本図により本回路では、薄膜ヒータ移相器10の駆動電力P1, P2において偏波ビームスプリッタ動作となることが分かる。

[発明が解決しようとする課題]

しかしながら、上述の従来例1における方向性結合器の結合率の設定は、いわゆるフォトリソグラフィ手法を基本とする光導波回路製造工程において、精密マスクパターンの管理等によりなされてきたが、製造工程を如何に精密に管理しても、上記結合率を希望値に正確に合わせるのには至難の技であった。例えば、50%の結合率を狙っても、光導波回路を作製した段階では、方向性結合器の

特開平3-267902 (4)

結合率は $50 \pm 5\%$ 程度になっているのが現状であり、これを正確に50%結合に作りつけるのは困難であった。これは、方向性結合器が極めて構造に敏感であり、その結合率が、上述の光導波路間隔や結合距離はもちろんのこと、それぞれの光導波路の幅や高さ、光導波路コア部1および2と周囲のクラッド層7、8との間の屈折率差にも敏感に依存することに起因している。

また、上述の従来例2においては、2つの方向性結合器の結合率が正確に50%になっていれば、複屈折率および光路長を制御することによってTEモードとTMモードを完全に分離し、別々の出力ポートから出力させることができる。しかし、光導波回路作製精度の限界や光導波路ガラスの屈折率のわずかなゆらぎ等により、光導波回路を作製した段階では方向性結合器の結合率は上述のように $50 \pm 5\%$ 程度になっているのが現状であり、これを正確に50%結合に作りつけるのはやはり困難である。よって、クロストークの小さな偏波ビームスプリッタを歩留まり良く得るためには、光導

波回路作製後に方向性結合器の結合率を50%に微調整する必要がある。

また、偏波ビームスプリッタは基本的に受動素子であるにもかかわらず、第23図に示したように、スプリッタ動作を維持するために常時薄膜ヒータ移相器に電力を供給し、2個の方向性結合器を連結する2本の導波路間の光路長差を正確に保持しなければならないことは実用上好ましくない。

本発明の目的は上記2つの問題点、すなわち方向性結合器の結合率設定および光路長差設定の問題点を解決するための光導波回路の特性調整方法およびこれを実現するための光導波回路を提供することにある。

[課題を解決するための手段]

本発明の光導波回路の特性調整方法は、基板上に配置されたクラッド層またはクラッド層に埋設されて光伝搬作用を持つ光導波路の実効的屈折率を、その材料の熱履歴現象を利用して変化させ、

その結果として光導波路の光路長または方向性結合器の結合率を調整する方法、およびその熱履歴現象を起こす方法として、光導波回路全体を電気炉で加熱処理する、または光導波回路上の所望箇所には耐熱ヒータやエネルギービーム照射により光導波回路の所望箇所を局部的に加熱処理することを特徴とする。ここで熱履歴現象とは、光導波路のクラッド層またはコア部の材料の屈折率値が、高温への加熱後、冷却条件（急冷か徐冷か）に依存して変化する現象である。

本発明の光導波回路は、基板と、基板上に配置されたクラッド層およびクラッド層に埋設され光伝搬作用を持つコア部を有する単一モード光導波路によって構成され、そのクラッド層またはコア部の材料の熱履歴現象を利用して、光導波路の光路長および方向性結合器の結合率が正確に調整されたこと、および局部的に熱履歴現象を生じさせるための耐熱ヒータを有することを特徴とする。

[作 用]

本発明によれば、光導波回路製造後に2本の光導波路を近接して構成される方向性結合器の結合率を正確（例えば $50 \pm 1\%$ ）に調節することができる。方向性結合器は単体で光分岐・結合器や光合分岐器としての利用を期待されているのみならず、複数個の方向性結合器を単一基板上に集積したより複雑な集積光デバイスを構成する上での必須の要素であり、本発明による方向性結合器の結合率調整点は、実用的な光導波回路製造に多大の貢献をする。この方向性結合器の1応用例として従来-20dB程度が一般的であった導波路型偏波ビームスプリッタのクロストークを定常的に-30dB以下にすることができるようになる。

また、本発明によれば、光導波回路製造後に、光導波路の光路長を任意の部分で調節することができる。その応用の一例として、従来導波路型偏波ビームスプリッタにおいて薄膜ヒータ移相器を用いていた光路長制御を本発明による方法で置き換えることにより、偏波ビームスプリッタ

特開平3-267902(5)

への定常供給電力が不要となる。

なお、本発明では、クラッド層あるいはコア部材料の熱履歴現象を用いているために、可逆的である。すなわち、調節のために変化させた結合率や光路長の変化分を、必要とあらば元の状態戻すことができる。この可逆性により光導波回路の特性調節作業が容易となり、さらには新規の光導波回路を具体化することも可能となる。

【実施例】

以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

- 実施例 1 -

まず、本発明の第1実施例として、シリコン基板上の石英系単一モード光導波路により構成される方向性結合器とその結合率調整方法について説明する。

本実施例で用いた方向性結合器は、見かけ上、第26図および第28に示した従来例と同様の構造を有しているが、上部クラッド層7に大量のドーバ

含む上部クラッド用ガラス微粒子層7aを堆積する(第1図(d))。その後、再度、基板を電気炉中で1250℃程度に加熱して、上部クラッド用ガラス微粒子層7aを透明ガラス化して上部クラッド層7とし、室温近傍まで徐冷(100℃/時程度の冷却速度)して所望の方向性結合器サンプルが製造される(第1図(e))。

このときのガラスの組成は、下部クラッド層8およびコア部1、2に原料ガス仕込段階でP₂O₅とB₂O₃とが総量で4モル%程度含まれており、上部クラッド層7には原料ガス仕込段階でP₂O₅とB₂O₃とが総量で25モル%程度含まれている。また、上部クラッド層7の屈折率と下部クラッド層8の屈折率とがほぼ等しくなるようにドーパント濃度が調節されている。コア部1、2には、コア部の屈折率を高め光伝搬作用を営ませるために適量のTiO₂あるいはGeO₂が添加されていることはもちろんである。

第2図は本発明の第1実施例として方向性結合器の結合率調整に用いた熱処理装置の構成図であ

ント(B(ホウ素)、P(リン))を含んでいることを特徴とする。第1図は、このような方向性結合器の作製工程を説明する図である。

まず、シリコン基板9上に、SiCl₄を主成分とし値かにBCl₃、PCl₃を含む混合ガスを原料とする火炎加水分解反応でSiO₂を主成分とする下部クラッド用ガラス微粒子層8aを堆積し、続いて適量のTiCl₄ガスを追加した混合ガスに切り替えてSiO₂-TiO₂を主成分とするコア用ガラス微粒子層40aを堆積する(第1図(a))。続いて、2層のガラス層8a、40aを堆積させたシリコン基板9を電気炉中で1350℃程度の高温に加熱してガラス微粒子層を透明ガラス化し、下部クラッド層8とコア層40を形成する(第1図(b))。続いて、反応性イオンエッチング(RIE)によりコア層40のうち不要な部分を除去して、コア部1および2を形成する(第1図(c))。次に、再び火炎加水分解反応を利用してコア部1および2を埋め込むようにSiCl₄-BCl₃-PCl₃混合ガスを原料とする火炎加水分解反応で大量にドーパント(B、P)を

る。本熱処理装置は縦形の管状電気炉であり、41は石英ガラス製炉芯管、42は炉芯管41を取り囲む発熱体、43はサンプル保持台、44はサンプル保持台43上の被熱処理サンプル、43aはサンプル保持台43を昇降するサンプル保持台昇降装置、45は断熱装置、41aは冷却室、および41bはサンプル取り出し扉である。

第3図は、第1図で示す上述の製造工程で得られた方向性結合器サンプル44を第2図のサンプル保持台43にセットし、発熱体42により熱処理温度(急冷開始温度)で10分間加熱した後、昇降装置43aを駆動してサンプル44を急速に下方の冷却室41aに移動し、急速冷却(クエンチ)処理した際の方向性結合器の結合率の急冷開始温度(600～800℃)依存性例を示す実測図である。本サンプルの結合部の近接導波路間隔は4μm、近接平行部分の長さは500μmであり、熱処理前の結合率Cは53%(波長1.55μmにおいて)であった。第3図により、急冷開始温度が650℃程度を超えると結合率が低下し、800℃の場合には36%程度に

特開平3-267902(8)

まで結合率が減少することがわかる。例えば、所望の50%結合率は、730℃で10分間の熱処理で達成される。

このように、本実施例によれば、方向性結合器の結合率を製造後の熱処理により比較的広い範囲で調整できるのである。

ここで強調したい点は、本実施例の結合率調整方法は可逆的である点である。すなわち、第3図において800℃の熱処理で35%にまで結合率が減少した方向性結合器サンプルを再び電気炉中で1000℃程度にまで加熱し、続いて室温近傍まで徐冷すると初期の63%結合率に復帰し、この操作は何度でも繰り返し実行することができる点である。この事実本実施例の結合率変化が、ガラス材料中のドーパントの拡散現象や厚発現象に基づくものではないことを示している。

結合率の熱処理温度依存のメカニズムを知る目的で、干渉顕微鏡観察によるサンプル断面の干渉顕微鏡観察を行ったところ、上部クラッド層7の屈折率値が熱処理によって変化することが見い出

された。第4図は、下部クラッド層8を基準とした上部クラッド層7の屈折率変化 Δn の元の屈折率値 n に対する比率 $\Delta n/n$ を縦軸にとり、急冷前の熱処理温度を横軸にとった実測グラフである。例えば、1000℃からの急冷で生じる屈折率変化 $\Delta n/n$ はマイナス0.12%であった。さらにこの後、1000℃に加熱し引き続き徐冷を行うと、上部クラッド層7と下部クラッド層8との屈折率の差は再びなくなった。

このような上部クラッド層屈折率の熱履歴現象は、ガラス材料科学の分野で、ガラスの安定化現象（「ガラス非晶質の科学」作花清夫著P47 朝内田老誠館発行）として知られている現象として理解される。熱履歴現象が顕著に現れるためには、ガラスの密度が温度に依存して変化することが必要であり、石英系ガラスではBやPなどのドーパントを大量に含み、熱膨張係数が純粋な石英ガラスに比べて大きいガラスが熱履歴現象を起こしやすいのである。高温に加熱されその高温状態に安定化されたガラスは急冷されると密度変化が間に合

わず、高温での比較的粗な状態を室温近傍において維持することになる。これが、急冷により上部クラッド層7の屈折率値が低下（第4図）した主な理由と考えられる。上部クラッド層7の屈折率が相対的に低下すると、方向性結合器の光導波路コア部1および2への光電界閉じ込めが強くなり、結合率は減少する。すなわち第3図の結果を説明できる。

この熱履歴現象と従来光路長制御に用いていた熱光学効果との違いは、熱光学効果で使う温度領域が室温～100℃であり、加熱終了直後にそれまでの屈折率変化が解消されるのに対し、熱履歴現象が使う温度領域は500～1200℃であり、加熱終了後の冷却速度（急冷か徐冷か）により恒久的な屈折率変化（再加熱で元に戻すことは可能）が残る点である。

第3図の例では、予め徐冷された方向性結合器サンプルに加熱・急冷の熱処理を施したが、逆に、予め1000～1200℃程度の高温から急冷したサンプルを出発サンプルとして500～700℃程度の

温度に再加熱して、再加熱時間によって結合率を調整することも可能である。以下にその例を示す。

第5図は、上述の方向性結合器サンプルを一旦1000℃から急冷した後、電気炉中で600℃に再加熱後急冷し、熱処理時間（温度保持時間）と結合率との関係をグラフ化したものである。再加熱前に23%であった結合率が温度保持時間とともに増加し、約1000分後に50%程度の結合率を横切っていることが判る。

以上の第3図および第5図の特性グラフは、本発明の熱履歴現象を活用した特性調整方法により、方向性結合器の結合率を所望の値（例えば50%）に微調整できることを示している。

上記実施例1のように、サンプル全体を基板ごと電気炉で熱処理する熱履歴法により有効に結合率調整するには、コア部とクラッド層とのガラス組成、すなわちドーパント濃度に顕著な差が必要である。実施例1では、上部クラッド層7に多量のドーパント（B、P）を含有させたが、これ

特開平3-267902(7)

は、ドーパントが少なく軟化温度の高いコア部の上部に、ドーパントが多く軟化温度の低めの上部クラッド層を形成するのが製造工程上容易であるからである。一方、上部クラッド層の形成にCVD(化学蒸着)法やスパック法等のいわゆる低温プロセスを使用し、コア部の熱変形の恐れが無い場合には、コア部と上部クラッド層のドーパント含有量を逆転させることもできる。

上記の実施例1では、基板全体を電気炉中で熱処理して方向性結合器の特性調整を行ったが、同一基板上に複数個の方向性結合器を含み、それぞれの方向性結合器の結合率調整を個別に実行したい場合には、実施例1の方法は得策ではない。

次に、複数個の方向性結合器を含む光導波回路のそれぞれの結合部結合率を個別に調整する実施例について説明する。

-実施例2-

第6図および第7図は本発明の第2の実施例として耐熱ヒータ付き光分岐回路を示す斜視図およ

3個の方向性結合器55a, 55b および55cの結合率が製造誤差を伴わないで50%に設定されていれば、第6図の光導波回路は全体として4分岐光回路としての動作をするが、実施例1でも説明したように方向性結合器の結合率を再現性良く例えば50%±1%に収めるのは実際上極めて困難である。しかし、本実施例では耐熱ヒータ56a, 56b および56cにより上部クラッド層に対して適当な熱処理を施して所望の50%結合率に調整することが可能である。第7図の13は上記の耐熱ヒータによる加熱急冷(例えば、耐熱ヒータに通電(パワー10W)として1分程度800℃程度に加熱した後、通電停止)によりヒータ熱履歴現象が生じた領域を示す。

耐熱ヒータ56a, 56b および56cにより結合率調整が終了すると、入力光ファイバ51a'を経由して入力ポート51aから光導波路51へと入射した信号光は、方向性結合器55aで光パワーを正確に2等分され、続いて方向性結合器55b および55cでそれぞれさらに2等分され、出力ポート53b, 51b,

びその11a'切断線における拡大断面図である。ここで、9aは石英ガラス基板、8は石英系ガラス下部クラッド層、7は石英系ガラス上部クラッド層、51, 52, 53および54はクラッド層7、8に埋設されてなる石英系光導波路(コア部)である。光導波路51と52は一部で互いに近接して方向性結合器55aを構成し、同様に光導波路51と53とで方向性結合器55bを構成し、光導波路52と54とで方向性結合器55cを構成している。これら3個の方向性結合器55a, 55b および55cを覆う上部クラッド層上には、それぞれ耐熱ヒータ56a, 56b および56cが設置されている。

上記の光分岐回路は、第1図に既述したと同等の製造工程により石英ガラス基板9a上に3個の方向性結合器55a, 55b, 55cを含む光回路を形成した後、NiCr金属膜を電子ビーム蒸着法とリフトオフ法を用いて上部クラッド層7上に形成して耐熱ヒータ56a, 56b, 56cとしたものである。この耐熱ヒータ発熱部の幅は50μm、長さは2mmである。

52b および54bから、出力光ファイバ53b', 51b', 52b' および54b'へと取り出される。

本実施例の耐熱ヒータを利用した結合率調整法においては、3個の方向性結合器を個別に調整でき、基板全体を電気炉中で加熱する実施例1に比べてより自在な調整ができる利点がある。また、耐熱ヒータによる加熱領域13は局所的であるので、入出力光ファイバ51a', 53b', 51b', 52b' および54b'を基板端面に取り付け、信号光を光回路に通したまま、加熱急冷ができるので、迅速かつ正確な特性調整が可能である。また耐熱ヒータ56a, 56b, 56cから発生する熱が入出力光ファイバ部分にまで波及するのを極力抑制するために、基板9a下部に冷却金属ブロック(図示省略)を設置しておくこともできる。

本実施例における耐熱ヒータは上部クラッド層7の上面にNiCr金属膜を形成した単純な構造を有していたが、場合によっては多層構造を採用することによって耐熱ヒータ自体の信頼性を向上することも可能である。第8図(a)および(b)の拡大

特開平3-267902 (8)

断面図によりその例を説明する。

第8図(a)は、NiCr耐熱ヒータ56a上面に保護層としてのSiO₂膜57を電子ビーム蒸着法により0.3 μm膜厚程度に形成したものである。このSiO₂保護膜57は高温加熱時におけるNiCr耐熱ヒータ56aと空気との反応を防止する上で極めて効果的であった。

第8図(b)は、上記の保護層57に加えて耐熱ヒータ56a下部にも予め下部保護層58(電子ビーム蒸着法によるやはり0.3 μm厚のSiO₂層)を設けたもので、上部クラッド層7に大量に含まれているドーパント(B、P)とNiCr耐熱ヒータとの高温時の反応を完全に防止するのに有効であった。

耐熱ヒータを駆動する際には、直流電圧および交流電圧を用いることができるが、特に高温に加熱する際には交流駆動(例えば、10KHz程度の周波数)が望ましい。これは、高温加熱状態でのヒータ材料の電気分解あるいはイオン移動の発生を交流駆動により抑制できるからである。

- 実施例3 -

第9図(a)および(b)は、実施例2の第6図、第7図に示した導波型4分岐光回路の石英ガラス基板9aをシリコン基板9に置き換え、しかも方向性結合器両側に放熱防止用溝16を掘って放熱を小さくし、耐熱ヒータへの供給電力を省電力化した方向性結合器55a領域の拡大平面図およびそのAA'線に沿った断面図を示す。この溝16は例えば公知の方法(特開平1-158413号参照)であるRIE(反応性イオンエッチング)とリソグラフィ技術によって実現できる。方向性結合器55a領域の2本の光導波路51および52はその周囲のクラッド領域とともにシリコン結晶柱15aにより支えられている。このサンプルを用いるとシリコン基板上の放熱防止用溝の無いサンプルに比べて1桁程度小さな電力で所望の結合率の変化が得られた。また、この溝16は基板9から光導波路にかかる応力を解放することによって、方向性結合器のわずかな偏波依存性を抑える動きもある。

本実施例では、耐熱ヒータにより複数の方向性結合器の結合調整を個別に行ったが、もちろん実施例1のようにサンプルを基板ごと電気炉に置いて熱処理をおこなって、すべての方向性結合器に一律の結合率変化を引き起こすこともできる。この場合、耐熱ヒータも電気炉中で高温に曝されることになるが、例えばNiCr耐熱ヒータの場合、1000℃程度の加熱には充分耐える。電気炉中にNiCr金属膜の酸化防止のためにアルゴンガスのような不活性ガスを流すことも有効である。

上記実施例2においては基板として石英ガラス基板を用いた。代わりにシリコン基板を用いる場合には、シリコン結晶が石英ガラスに比べて熱伝導性が良いので、耐熱ヒータによる加熱処理に際し、より大きな通電パワーが必要とする点に注意する必要がある。

次に、シリコン基板上で耐熱ヒータへの供給電力を削減する工夫を行った実施例について説明する。

- 実施例4 -

第10図および第11図はそれぞれ本発明の第4の実施例としての耐熱ヒータ付き方向性結合器単体の回路構成を示した斜視図およびそのAA'線に沿った拡大断面図である。ここでは熱処理面積を変化させるために耐熱ヒータ15を空間的に分割して複数個配列している。耐熱ヒータの複数比に対応して、放熱防止用溝16も導波路に沿って複数に分割されている。本実施例では、耐熱ヒータ15の下部の光導波路1、2の領域は完全にシリコン基板9本体から分離されており、実施例3に比べてより完全な放熱防止が達成されている例である。また、シリコン基板9の裏面には熱バランス用に銅ブロック14に接合させて周囲温度等に左右されずに結合率調整作業を進められるようにした。場合によっては、銅ブロック14に予熱ヒータを埋め込み、基板全体の温度を400℃程度にまで上昇させ、一種の温度バイアスとして、耐熱ヒータによる加熱急冷作業の補助とすることもできる。

特開平3-267902(9)

上述の実施例2、3および4では光導波回路の所要部分に局所的に熱履歴を引き起こすために耐熱ヒータを用いたが、次の実施例で説明するように、炭酸ガス(CO₂)レーザのようなエネルギービーム照射によって局所的な熱履歴を引き起こすことも可能である。

-実施例5-

第12図は本発明の第5の実施例としての石英ガラス基板上の方向性結合器の構成とその結合率の調整方法を示す斜視図である。ここで、12は加熱用CO₂レーザビーム、13はCO₂レーザビーム12によって局所的に熱処理されて熱履歴現象が生じた領域、14は石英ガラス基板9aの下部に接着した放熱用銅ブロックを示す。本実施例に用いるサンプルは、前記実施例群で述べた方法で下部クラッド層8を石英ガラス基板9a上に形成した後、SiO₂-TiO₂を主成分とするコア層を火炎加水分解反応で堆積させ、続いて反応性イオンエッチング(RIE)によりそのコア層のうち不要な部分を除去して、コア部1および2を形成する。次に、再び火炎加

水分解反応を利用してコア部1および2を埋め込むようにSiO₂を主成分とする上部クラッド層7を形成する。

このとき、上部クラッド層7にはP₂O₅とB₂O₃とが多量(総量で15~25モル%程度)含まれている。また、方向性結合器5の結合率は55±5%以内になるよう製作されている。この方向性結合器の結合部に基板表面から加熱用CO₂レーザビーム12(5W)を1秒間照射してレーザ光を急激にきると、その結合率は約1%減少した。このとき石英ガラス基板9aの裏面は銅ブロック14に接着させて放熱しやすいようにしておく。このときの実験結果例を第13図に示す。ここで、縦軸に方向性結合器5の結合率変化、横軸に照射したCO₂レーザパワーを示す。但し、CO₂レーザビーム12の照射時間は1秒、CO₂レーザビームのスポット径は約500μm、方向性結合器の結合部における導波路間隔は4μmであった。また、CO₂レーザパワーが8W(ワット)以上の時はガラスの変形がみられ、導波路の光損失が増加した。この実験におけ

る結合率の減少量は方向性結合器5の結合部における導波路間隔が広いほど大きいし、また熱処理温度(CO₂レーザパワー)、熱処理面積にも依存する。この後、CO₂レーザ光(5W)を1秒間照射して、引続き5時間程度で徐々に冷却する(CO₂レーザパワーを徐々に下げていく)と方向性結合器の結合率は元の状態に戻る。

以下に具体的な方向性結合器の結合率の調整方法を説明する。

第12図において入力ポート1aより光を入射しながら出力ポート1b、2bからの出力P1、P2を常時観察しておく。P1<P2ならばCO₂レーザビーム12で方向性結合器の結合部分5を部分的に加熱して急冷する。この調整によって結合率は減少してP1の出力が相対的に大きくなる。さらにP1<P2ならば熱処理領域を増やすかまたは加熱温度を上げて急冷を繰り返す。この結果、調整が行き過ぎてP1>P2となればその程度に合わせたCO₂レーザパワーで加熱を行い、引続き徐冷をおこなうことによって、最終的にP1=P2の状態を作ることができ

る。

ここで微調整に使うことのできるパラメータは、熱処理する領域、熱処理温度(CO₂レーザパワー)、急冷速度(CO₂レーザパワーの減少速度)、熱処理時間(CO₂レーザ照射時間)がある。これらはサンプルの形状、材質等によって使い分けると良い。

この調整の結果として方向性結合器の結合率を50±1%以内にすることができた。

ここで強調すべき点は、上記のCO₂レーザ加熱による方向性結合器の結合率調整作業は、上部クラッド層7中のドーバントの拡散や蒸発を伴うものではなく、ドーバントを多量に含む石英系ガラスのいわゆる「安定化現象」に起因するために可逆的である点である。すなわち、行き過ぎた加熱急冷作業は、その後の加熱徐冷作業により元に戻すことができるのである。場合によっては、サンプル全体を再度電気炉に入れて1000℃程度のままで加熱し引続き徐冷すれば、それまでのCO₂レーザによる熱処理の履歴を解消し、初期状態に戻すこ

特開平3-267902(10)

とができる。

また、ここで注意すべきことは、上記実施例2～5のように上部クラッド層7の表面から耐熱ヒータ加熱あるいはCO₂レーザ加熱により結合率を調整する場合には、実施例1の場合と異なり、上部クラッド層7とコア部および下部クラッド層8との間にドーパント濃度の著しい差は必ずしも必要ではない点である。これは、表面からの加熱の場合には、仮にすべてのガラス層領域にドーパントが一律かつ多量に含有されていても、表面からの加熱により上部クラッド表面が高温で基板側が低温になる温度分布が発生し、コア部と上部クラッド層との間の屈折率差におおむね変化が生ずるからである。

以上の実施例では、方向性結合器の結合率調整への本発明の適用例について説明したが、次に本発明の光導波路の光路長制御への適用例について説明する。

－実施例6－

第14図および第15図は本発明の第6の実施例と

の屈折率変化は、光導波路1の等価屈折率の変化となって現れるのである。

本実施例において、加熱長（発熱部の長さ）5mmの耐熱ヒータ15に最大10ワット程度の電力を供給したところ、0.75μm程度の光路長変化を発生させることができた。これは、例えば波長1.5μmの信号光に対して1/2波長相当の光路長変化である。等価屈折率変化に換算すると 1.5×10^{-4} 程度の屈折率変化であった。

ここで勘案すべき点は、シリコン基板9上の光導波路1を耐熱ヒータ15で局所的に加熱した際のシリコン基板からの応力効果の存在である。すなわち、シリコン基板9上の石英系光導波路1は、室温状態で、石英系ガラスとシリコン基板との熱膨張係数との差から圧縮応力を受けているのが通常である。耐熱ヒータ15による上部クラッド層7の温度上昇により、加熱領域13が軟化すると、シリコン基板9からの圧縮応力は光導波路コア部1により強くかかるようになり、圧縮応力増加によって光導波路1の等価屈折率が加することが

しての光路長制御を行うことのできる光導波路の構成とその調節法を示す斜視図およびそのAA'線における拡大断面図である。1は石英系クラッド層7、8に埋設された石英系光導波路（コア部）であり、第1図と同様の製造工程およびガラス組成でシリコン基板9上に形成されたものである。15は光導波路1を覆う上部クラッド層7上に設けた耐熱ヒータである。本実施例がこれまでの実施例と異なる点は、これまでの実施例では上部クラッド層7の屈折率を変化させて方向性結合器における結合率を調節したが、本実施例では上部クラッド層7の屈折率を変化させて光導波路1の等価屈折率を変え、その結果として光導波路1の実効的な光路長を調節しようというものである。

本実施例においても、耐熱ヒータ15による加熱急冷あるいは加熱徐冷による熱履歴現象により上部クラッド層7の一部領域13に屈折率変化が生じる。単一モード光導波路においては、信号光はコア部のみならずクラッド層にも一部しみだして伝搬されるために、コア部を覆う上部クラッド層7

ある点である。この増加傾向は、上部クラッド層7の安定化現象による屈折率定化に伴う等価屈折率の減少と逆方向であり、いずれが支配的かは、上部クラッド層7の厚さや加熱の程度にも依存する。いずれにしても、耐熱ヒータ15による加熱により光路長制御ができる点に変わりはなく、光導波路1にモニタ光を通じつつ光路長調整を行うことができる。

なお、予め光導波路両側にシリコン基板に至る程度にまで応力解放溝（前述文献：河内正夫“石英系光導波路と集積光部品への応用”、光学、18（1989）681-685を参照のこと）を掘っておき、シリコン基板9からの応力作用を極力抑制することもできる。本実施例のシリコン基板9を石英ガラス基板に置き換えると基板からの応力作用が抑制されることも付記する。

本実施例の光路長制御においても、サンプル全体を1000℃程度にまで再加熱して徐冷すると、過去の熱履歴がご破算される点はこれまでの実施例と同様である。

特開平3-267902(11)

本実施例では加熱手段として耐熱ヒータを用いたが実施例5と同様のCO₂レーザ加熱を適用することも可能である。

- 実施例7 -

第15図および第17図に本発明の第7の実施例としての導波路型偏波ビームスプリッタの斜視図およびそのAA'切断線における拡大断面図を示す。ここで、10は薄膜ヒータ移相器、P₀は入力ポート1aから入力する入力光パワー、P₁、P₂はそれぞれ出力ポート1b、2bからの出力光パワーを示す。本実施例で用いるサンプルは実施例1に記載の方法と同じ方法で作製され、2個の方向性結合器5、6とそれらを結ぶ長さの等しい2本の導波路1、2で構成されている。但し、2つの方向性結合器5、6の結合率は何れも $55 \pm 5\%$ 以内になるように設計されている。

次に、この偏波ビームスプリッタの調節手順の概略を示す。

1) まず、2つの方向性結合器5、6の結合率を

$$L1 = (n\pi + \phi + \theta) / 2\pi$$

とする。同様に方向性結合器5と6の間の導波路2の光路長を

$$L2 = (n\pi + \phi - \theta) / 2\pi$$

とする。ただし ϕ 、 θ はそれぞれ $0 \leq \phi < \pi$ 、 $0 \leq \theta < \pi/2$ の条件を満たす任意の値である。 λ は導波路1、2における光の波長である。

まず、入力ポート1aからTEモードの光P₀を入射すると、出力ポート1bおよび2bからの出力光パワーP₁、P₂は次のようになる。

$$P_1 = P_0 \{ (a+b)^2 - 4ab \cos^2 \theta \} \quad (1)$$

$$P_2 = P_0 \{ (c-d)^2 + 4cd \cos^2 \theta \} \quad (2)$$

$$\text{但し、} a = \frac{1}{100} \sqrt{(50-\alpha)(50-\beta)}$$

$$b = \frac{1}{100} \sqrt{(50+\alpha)(50+\beta)}$$

$$c = \frac{1}{100} \sqrt{(50+\alpha)(50-\beta)}$$

$$d = \frac{1}{100} \sqrt{(50-\alpha)(50+\beta)}$$

実施例5に記載した熱履歴法によって50%に調節する。

2) 非晶質シリコン(a-Si)応力付与膜21をトリミングして複屈折値の調節を行う。

3) 薄膜ヒータ移相器10による導波路1、2の光路長の制御を実施例6に記載した熱履歴法による光路長の制御で置き換える。

この結果としてクロストークが非常に小さく、しかも従来必要であった薄膜ヒータ移相器10への定常供給電力が不要な導波路型偏波ビームスプリッタが実現される。

さらに、上記の各調整手順の詳細を説明する。

まず、マッハツェンダ光干渉計を構成する2つの方向性結合器5、6の結合率を熱履歴法によって50%に調節する方法について説明する。

第16図において方向性結合器5と方向性結合器6の調節前の結合率をそれぞれ $50 + \alpha\%$ 、 $50 + \beta\%$ とする。但し α 、 $\beta \geq 0$ である。また方向性結合器5と方向性結合器6の間の導波路1の光波長

ここで、P₁が最小になるように薄膜ヒータ移相器10で光路長を制御すると、上式(1)から $\theta = n\pi$ のとき、P₁はその最小値P₁(n π)をとる。

$$P_1(n\pi) = P_0 \left(\frac{1}{2} + 2 \cdot \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{\beta}{100} \right)$$

$$-2 \sqrt{\left\{ \frac{1}{4} - \left(\frac{\alpha}{100} \right)^2 \right\} \left\{ \frac{1}{4} - \left(\frac{\beta}{100} \right)^2 \right\}}$$

同様にして、P₂が最小になるように薄膜ヒータ移相器10を調節すると、上式(2)から $\theta = (n+1/2)\pi$ のときにP₂はその最小値P₂((n+1/2) π)をとる。

$$P_2 \left(\left(n + \frac{1}{2} \right) \pi \right) = P_0 \left(\frac{1}{2} + 2 \cdot \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{\beta}{100} \right)$$

$$-2 \sqrt{\left\{ \frac{1}{4} - \left(\frac{\alpha}{100} \right)^2 \right\} \left\{ \frac{1}{4} - \left(\frac{\beta}{100} \right)^2 \right\}}$$

そこで、P₁(n π) - P₂((n+1/2) π) = 4 · P₀ · (α/100) · (β/100)が0、すなわち両ポート1b、2bからの出力がP₁、P₂が等しくなるように方向性結合器5の結合率をC0、レーザ加熱を用いた実施例5に記載の方法で調節する。この結果α = 0が達成

特開平3-267902(12)

される。この状態で P_1 の最小値 $P_1(n\pi)$ は次式で表される。

$$P_1(n\pi) = P_0 \left[\frac{1}{2} - \sqrt{\frac{1}{4} - \left(\frac{\beta}{100} \right)^2} \right] = P_0 \left(\frac{\beta}{100} \right)^2$$

よって、 $P_1(n\pi) = 0$ となるように方向性結合器5の結合率を実施例5に記述の方法で調節すると、 $\alpha, \beta = 0$ が得られる。すなわち、これにより第15図のマッハツェンダ干渉計を構成する2つの方向性結合器の結合率を50%に調節することができたことになる。

つぎに公知の方法（特開昭64-77002号参照）を利用して、非晶質シリコン(a-Si)応力付与膜のトリミングによる複屈折値の制御方法について説明する。

まず、その原理を説明する。TEモードの光とTMモードの光にとっての方向性結合器5と方向性結合器6とを結ぶ導波路1の光路長をそれぞれ L_{1TE}, L_{1TM} とする。

ファイバである。一方のレーザダイオード32からのTEモードの光LD(TE)は発振周波数 f, Hz で、また他方のレーザダイオード33からのTMモードの光LD(TM)は発振周波数 f, Hz で強度変調を受けている。受光器29, 30に接続する一方のロックインアンプ（バンドパスフィルタ）25および27は周波数 f, Hz に同期しており、受光器29, 30に接続する他方のロックインアンプ（バンドパスフィルタ）26および28は周波数 f, Hz に同期している。ロックインアンプ25, 26, 27, 28の出力をそれぞれ $P_{TE1}, P_{TM1}, P_{TE2}, P_{TM2}$ とする。これらの出力 $P_{TE1} \sim P_{TM2}$ は例えば図示しない測定器または演算回路に出力されて検知される。

まず、 $\log(P_{TE2}/P_{TE1})$ が最小になるように、すなわち P_{TE2} と P_{TE1} との差が最大となるように、第16図の薄膜ヒータ移相器10を駆動する。

次に、 $\log(P_{TM2}/P_{TM1})$ が最小となるように、つまり P_{TM2} と P_{TM1} の差が最大となるようにArレーザでa-Si応力付与膜21をトリミングしていく。このとき、a-Siトリミングの過程によって $\log(P_{TE2}$

図様に、方向性結合器5と方向性結合器6とを結ぶ導波路2の光路長をそれぞれ L_{2TE}, L_{2TM} とする。ここでは $\Delta L_{TE} = L_{2TE} - L_{1TE}$ と $\Delta L_{TM} = L_{2TM} - L_{1TM}$ との差を

$$|\Delta L_{TE} - \Delta L_{TM}| = (n + \frac{1}{2})\lambda$$

となるように複屈折を調節する。 λ は入力光の波長である。その結果、ある薄膜ヒータ移相器10のある駆動条件で入力ポート1aから入射したTEモードの光は例えば出力ポート1bから、また入力ポート1aから入射したTMモードの光は出力ポート2bから出力させることができる。

以下にその調節方法の詳細を述べる。第18図に本実施例の複屈折値の調節で用いたシステムの構成図を示す。

ここで、31は第16図で示す導波型偏波ビームスプリッタ、29, 30はその偏波ビームスプリッタの光出力を受けて電気信号に変換する受光器（例えば、ホトトランジスタのような受光素子）、23は偏波保持ファイバカップラおよび24は偏波保持

/P_{TE1})が最小となるヒータ駆動条件が変化していくため、その変化に追従していくように薄膜ヒータ移相器10の駆動電流を微小変調し、その微分が0になるよう駆動条件を変化させている。この結果、薄膜ヒータ移相器10のある駆動条件のもとで、クロストークの非常に小さな偏波ビームスプリッタが得られる。

最後に、薄膜ヒータ移相器10による光路長の調節を熱履歴法による光路長の調節で置き換える方法について説明する。

今までの工程で得られた偏波ビームスプリッタ31を $\log(P_{TE2}/P_{TE1})$ が最小になるように薄膜ヒータ移相器10を駆動する。そこで、第16図に示す13'の部分でCO₂レーザ加熱を用いた実施例6に示す方法で加熱および急冷してその光路長を調節していく。光では光路長差 $n\lambda$ に関してその存在を認識することができないために、13'の熱履歴現象発生領域を徐々に加熱および急冷していくことによって、光路長変化の λ 以内の範囲で薄膜ヒータ移相器10への正常供給電力が0で、 \log

特開平3-267902(13)

$(P_{T_{out}}/P_{T_{in}})$ が最小となる条件が求まる。

この結果、定常供給電力が不必要で、クロストークの非常に小さな偏波ビームスプリッタが得られる。

実際には、以上の工程によってクロストーク -31dB (出力 $P_{T_{out}}$)、-28dB (出力 $P_{R_{out}}$) で定常供給電力不要の偏波ビームスプリッタが実現できた。

- 実施例 8 -

第19図および第20図に本発明の第8の実施例としての導波型波長無依存カブラの平面図およびそのAA'切断線における拡大断面図を示す。本カブラは2本の光導波路1、2が2箇所付近接して2個の方向性結合器5、6を構成している。2個の方向性結合器5、6を連結する領域の2本の光導波路1、2の上には耐熱ヒータ10a、10bが形成されている。出力ポート1b、2bからの出力光パワーを P_{aub} 、 P_{aib} とすると、2個の方向性結合器5、6間の光導波路1、2の実効的な光路長差は、第

得られる。すなわち、この場合の結合率は28%程度に増加する。

第21図の結果は、本発明の光路長調整により、波長無依存カブラの結合率を微調整できることを示している。

- 実施例 9 -

第22図に本発明の第9の実施例としての双安定光スイッチの斜視図を示す。本実施例のサンプルは実施例8と同様にシリコン基板9上に形成されている。本実施例においては2個の方向性結合器5、6は、波長 $1.3\mu\text{m}$ においてほぼ50%結合率になるよう設定されている。方向性結合器5、6を連結する領域の光導波路1、2の光路長は等しくなるように、すなわち光路長差が零になるよう設定されている。光導波路1、2の上部には耐熱ヒータ10a、10bが設置されている。

これらの耐熱ヒータ10a、10bを駆動しない初期状態において、入力ポート1aから入射された波長 $1.3\mu\text{m}$ の信号光は、出力ポート2bから出力され

19図全体の光カブラとしての結合率

$$P_{aub}/(P_{aib} + P_{aub})$$

の波長依存性が極力緩和されるように $0.9\mu\text{m}$ 近傍に設定されている(本カブラの基本原理については特開平1-227448号参照のこと)。

第21図は、上記の耐熱ヒータ10a、10bによる本カブラの結合率調整例を説明する結合率・波長の関係を示す特性図である。第21図において、実線(a)は、耐熱ヒータ10a、10bを駆動する前のカブラの結合特性であり、 $1.25\sim 1.60\mu\text{m}$ 程度の広い波長域で20%結合率が達成されている。この時の光路長差は上述のように $0.9\mu\text{m}$ である。

次に、実施例8に既述した耐熱ヒータ加熱による熱履歴現象を活用した光路長制御方法を用いて、耐熱ヒータ10a、10bのいずれかを駆動して、光路長差を $0.8\mu\text{m}$ と小さくすると、第21図の破線(b)に示した波長特性が得られる。すなわち、波長無依存の特性を維持したまま結合率は12%程度にまで減少する。逆に、光路長差を $1.0\mu\text{m}$ に増大させると第21図の一点鎖線(c)の波長特性が

得られる。すなわち、初期状態において、第22図の構成は(1a-2b、2a-1b)のクロス光路状態にある。

次に、耐熱ヒータ10aあるいは10bを駆動して、いずれか一方の光導波路の光路長に2分の1波長相当分、すなわち $1.3\mu\text{m}/2=0.65\mu\text{m}$ の光路長増加を前述した熱履歴法により誘起すると、(1a-1b、2a-2b)のスルー光路状態に切り替わる。耐熱ヒータ10a、10bの加熱急冷あるいは加熱徐冷の操作により、上記の2状態を交互に切り替えることが可能で、本サンプルは双安定光スイッチとして動作する。本スイッチは、その原理上、高速で光路を切り替える分野には向かないが、年に数回程度しか切り替えないような分野には維持電力が不要な点で有利である。

- 実施例 10 -

第23図は本発明の第10の実施例としての光周波数多重光合分波器の平面図である。61、62、63、64はシリコン基板9上に実施例1と同様の方法で形成された光導波路であり、本実施例でのコア部断

特開平3-267902 (14)

面寸法は $6\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$ であり、コア部と周囲のクラッド層との比屈折率差は0.75%である。シリコン基板9上で光導波路61と62は2箇所にて近接して方向性結合器65aおよび65bを構成している。これらの方向性結合器65aと65bとを連結する領域の光導波路61と62は曲率半径5mm程度の曲線形状を有しており、方向性結合器65aと65bとの間で $\Delta L = 10\text{mm}$ の導波路長差を設定され、全体で非対称形マッハツェンダ光干渉計回路70aを構成している。

同様に、光導波路61と63は、方向性結合器65aと65bを含む非対称形マッハツェンダ光干渉計回路70bを構成し、さらに、光導波路62と64は、方向性結合器67aと67bを含む非対称形マッハツェンダ光干渉計回路70cを構成している。非対称形マッハツェンダ光干渉計回路70bと70cにおける2個の方向性結合器間の導波路長差は $\Delta L/2 = 5\text{mm}$ に設定されている。

上記の3個の非対称形マッハツェンダ光干渉計回路70a, 70b, 70cの片側の光導波路上には、それ

ぞれ光導波路の複屈折性制御のための非晶質シリコン(a-Si)応力付与膜68a, 68b, 68cが形成され、非対称形マッハツェンダ光干渉計回路70a, 70b, 70cの他方の光導波路上には、それぞれ耐熱ヒータ69a, 69b, 69cが設置されている。

次に、この光周波数多重光合分波器の特性調整方法の手順の概略を示す。

(1) まず、非晶質シリコン(a-Si)応力付与膜68a, 68b, 68cをレーザトリミングして、非対称形マッハツェンダ光干渉計回路70a, 70b, 70cの偏波依存性を解消する(特開昭64-77002号参照のこと)。

(2) 次に、耐熱ヒータ69a, 69b, 69cを駆使して、非対称形マッハツェンダ光干渉計回路70a, 70b, 70cの導波路長差を微調整して、光周波数間隔 $\Delta f = 10\text{GHz}$ の4チャンネルの信号光 f_1, f_2, f_3, f_4 に非対称形マッハツェンダ光干渉計回路70a, 70b, 70cの光周波数応答を同期させる。

第24図は、上述の非対称形マッハツェンダ光干渉計回路70a, 70b, 70cの光周波数応答特性を示す

説明図であり、同図を参照して上記(2)の手順をさらに詳細に説明する。第24図において(a-1)は、上記の手順(1)の完了後の非対称形マッハツェンダ光干渉計回路70aの光周波数応答特性を示し、干渉原理に基づく正弦波状の光周波数応答の山と谷の間隔は、 $\Delta L = 10\text{mm}$ により規定される $\Delta f = 10\text{GHz}$ に設定されているものの、山あるいは谷の絶対光周波数位置は、導波路屈折率値や導波路長のわずかな揺らぎ等により一定していない。第23図の光合分波器に正規の動作を営ませるためには、耐熱ヒータ69aの活用により、その下部の導波路の光路長をサブミクロン以下の精度で微調整して、本光合分波器の使用温度、例えば25℃で、山の位置が f_1 および f_2 に対応し、谷の位置が f_3 および f_4 に対応するように、光周波数応答を光周波数軸方向にシフトさせ、これにより第24図の(b-1)の応答特性を実現する。

同 手順で耐熱ヒータ69bおよび69cを駆使して、第24図の(a-2)および(a-3)に示した非対称形マッハツェンダ光干渉計回路70bおよび70c

の光周波数応答特性(周期は $2\Delta f = 20\text{GHz}$)を第24図の(b-2)および(b-3)のように整列させる。

熱膨張現象を利用した上記の整列操作により、第23図の光合分波器には入力ポート51aから入射した光周波数間隔 $\Delta f = 10\text{GHz}$ の4チャンネルの信号光 f_1, f_2, f_3, f_4 を出力ポート51b, 52b, 53b, 54bから出射させるという所望の動作を営ませることができる。

上記の整列操作は一度実行設定すればサンプル温度を25℃に保持しておく限り、耐熱ヒータ69a, 69b, 69cへの維持電力は不要であることはもちろんである。

上記実施例10では4チャンネル用の光周波数多重光合分波器について説明したが、同様の構成は、さらに多段に非対称形マッハツェンダ光干渉計回路を連結した8チャンネル用や16チャンネル用等の光合分波器の作製にも拡張適用できる。

以上、本発明の構成および作用を石英ガラス基板あるいはシリコン基板上の石英系ガラス光導波

特開平3-267902(16)

路を例に説明したが、熱履歴現象を起こす材料系であれば、石英系ガラス以外の光導波路材料系にも適用できる。また、上記実施例で取り上げた方向性結合器、偏波ビームスプリッタ、双安定光スイッチ、波長無依存カプラ、および光周波数多重光合分波器、以外の多様の光導波回路、例えば、熱光学型マトリックス光スイッチ、光リング共振器、波長多重合分波器、各種光フィルタ等の特性調整にも本発明を適用できる。

(以下余白)

[発明の効果]

以上説明したように、本発明によれば、光導波路材料の熱履歴現象を利用することにより、導波路型方向性結合器の結合率の調節、または光導波路の光路長の調節を行い、ひいては光集積回路の回路特性の制御を行うことができる。

方向性結合器は単体で光分岐・結合器や光合分波器としての利用を期待されているのみならず、複数個の方向性結合器を単一基板上に集積したより複雑な集積光デバイスを構成する上でも必須の要素であり、本発明による方向性結合器の結合率調整方法は、実用的な光導波回路製造に多大の貢献をするものである。

また、本発明による光路長の調節方法は、波長無依存カプラや光スイッチ、光周波数多重光合分波器等の光干渉原理を用いた集積光デバイスの特性向上や新デバイスの創出に多に資するものである。

さらに、熱履歴現象を利用した本発明の特性調整方法は可逆的であり、この事実が特性調整を容

易にしている。

本発明のうちで耐熱ヒータ等による局部加熱の方法は、デバイスの製作および実装後のデバイスの入出力用光ファイバが取り付けられた状態で実施できるため、製作および実装精度を緩和することができ、歩留まりよく所望の特性を有した集積光デバイスを実現することができる利点もある。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の第1実施例として、電気炉を用いた熱履歴法により結合率調整をする方向性結合器サンプルの製造工程を説明する模式的断面図。

第2図は本発明の第1実施例において方向性結合器サンプルの熱履歴法による結合率調整に使用した熱処理炉の断面構造を示す模式的縦断面図。

第3図は本発明の第1実施例の方向性結合器の結合率の加熱急冷温度依存性の一例を示す特性図。

第4図は本発明の第1実施例における熱履歴現象を示す屈折率変化の特性図。

第5図は本発明の第1実施例における方向性結合器の結合率の別の熱処理条件下での結合率変化例を示す特性図。

第6図は本発明の第2実施例として、耐熱ヒータを用いた熱履歴法により結合率と分岐比を調整した導波型4分岐光回路およびその調整方法を示す斜視図。

第7図は第6図のAA'切断線に沿う拡大断面図。

第8図(a)と(b)はそれぞれ本発明の第2実施例における改良型の耐熱ヒータの構造を示す断面図。

第9図(a)および(b)は本発明の第3実施例としてシリコン基板上の導波型4分岐光回路における放熱防止溝を有する耐熱ヒータ付き方向性結合器の要部拡大平面図、およびそのAA'切断線に沿う断面図。

第10図は本発明の第4実施例として、分割構造

特開平3-267902(16)

を持つ耐熱ヒータを用いた熱履歴法により結合率を調節した導波路型方向性結合器およびその結合率調節方法を示す斜視図。

第11図は第10図のAA'切断線に沿う拡大断面図。

第12図は本発明の第5実施例として、CO₂レーザを用いた熱履歴法により結合率が調節された導波路型方向性結合器およびその結合率調節方法を示す斜視図。

第13図は本発明の第5実施例においてCO₂レーザを用いた熱履歴法の実験結果を示す特性図。

第14図は本発明の第6実施例として、耐熱ヒータを用いた熱履歴法により光路長が調節された光導波路およびその光路長調整方法を示す斜視図。

第15図は第14図のAA'切断線に沿う拡大断面図。

第16図は本発明の第7実施例として、導波路型偏波ビームスプリッタおよびその特性調節方法を示す斜視図。

ヒータを用いた熱履歴法により光周波数応答特性を調整する方法を説明する波形図。

第25図は従来の光導波回路としての方向性結合器の構造を示す斜視図。

第26図は第25図のAA'切断線に沿う拡大断面図。

第27図は従来の光導波回路としての導波型偏波ビームスプリッタの構造を示す斜視図。

第28図は第27図のAA'切断線に沿う拡大断面図。

第29図は第27図の導波路型偏波ビームスプリッタの特性を示す特性図である。

1, 2 ... 単一モード光導波路(コア部)。

1a, 2a ... 入力ポート。

1b, 2b ... 出力ポート。

1a', 2a', 1b', 2b' ... 入出力光ファイバ。

5, 6 ... 導波路型方向性結合器。

7 ... 上部クラッドガラス層。

7a ... 上部クラッド用ガラス微粒子層。

第17図は第16図のAA'切断線に沿う拡大断面図。

第18図は本発明の第7実施例のa-Si応力付与膜のトリミングに用いるモニター用システムの構成を示す模式図。

第19図は本発明の第8実施例として、導波型波長無依存カプラおよびその特性調節方法を示す平面図。

第20図は第19図のAA'切断線に沿う拡大断面図。

第21図は本発明の第8実施例における耐熱ヒータによる熱履歴法での結合率調整の実験結果を示す特性図。

第22図は本発明の第9実施例として、双安定光スイッチおよびその特性調整方法を示す斜視図。

第23図は本発明の第10実施例として、光周波数多重光合分波器およびその特性調整方法を示す平面図。

第24図は本発明の第10実施例において、耐熱

8 ... 下部クラッドガラス層。

8a ... 下部クラッド用ガラス微粒子層。

9 ... シリコン基板。

9a ... 石英ガラス基板。

10 ... 薄膜ヒータ移相器。

10a, 10b ... 耐熱ヒータ。

11 ... a-Si応力付与膜。

12 ... 加熱用CO₂レーザビーム。

13, 13' ... 加熱急冷を行って熱履歴現象が起きた領域。

14 ... 銅ブロック。

15 ... 耐熱ヒータ。

16 ... 放熱防止用溝。

16a ... シリコン結晶支持細柱。

21 ... 未トリミングa-Si応力付与膜。

22 ... トリミング済みa-Si応力付与膜。

23 ... 偏波保持ファイバカプラ。

24 ... 偏波保持ファイバ。

25, 27 ... f.Hzに同期したロックインアンプ
(バンドパスフィルタ)。

特開平3-267902(17)

26, 28 ... f_0 Hzに同期したロックインアンプ
(バンドフィルタ)、

29, 30 ... 光電変換素子、

31 ... 導波路型偏波ビームスプリッタ、

40 ... コアガラス層、

40a ... コア層用ガラス微粒子層、

41 ... 炉芯管、

41a ... 冷却室、

41b ... サンプル取り出し部、

42 ... 発熱体、

43 ... サンプル保持台、

43a ... サンプル保持台昇降装置、

44 ... 被熱処理サンプル、

45 ... 断熱装置、

51, 52, 53, 54 ... 単一モード光導波路
(コア部)、

51a ... 入力ポート、

51b, 52b, 53b, 54b ... 出力ポート、

51a', 51b', 52b', 53b', 54b' ...

入出力光ファイバ、

55a, 55b, 55c ... 方向性結合器、

56a, 56b, 56c ... 耐熱ヒータ、

57 ... 保護層、

58 ... 下部保護層、

61, 62, 63, 64 ... 単一モード光導波路、

61a ... 入力ポート、

61b, 62b, 63b, 64b ... 出力ポート、

65a, 65b, 66a, 66b, 67a, 67b ... 方向性結合器、

68a, 68b, 68c ... a-Si応力付与膜、

69a, 69b, 69c ... 耐熱ヒータ、

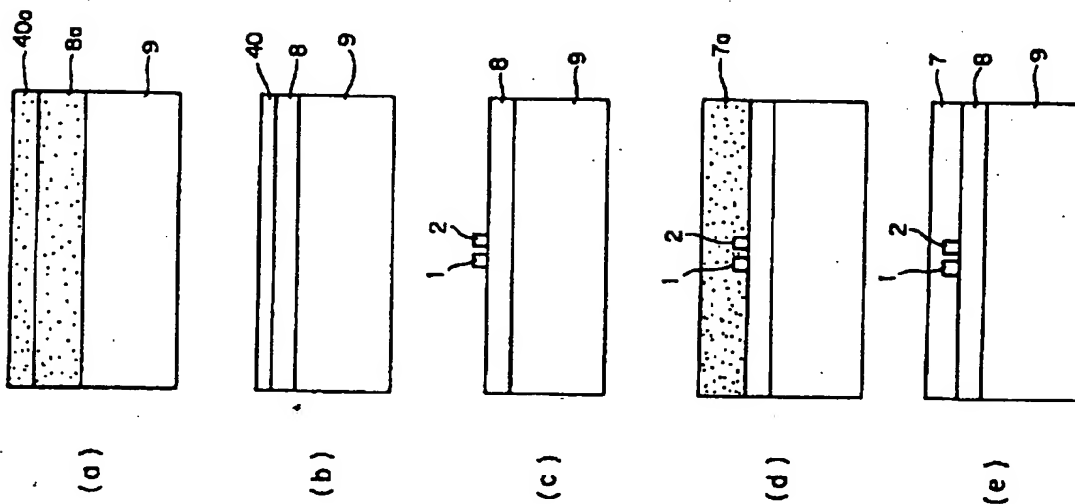
70a, 70b, 70c ... 非対称型導波型マッハ
ツェンダ光干渉計回路、

特許出願人

日本電信電話株式会社

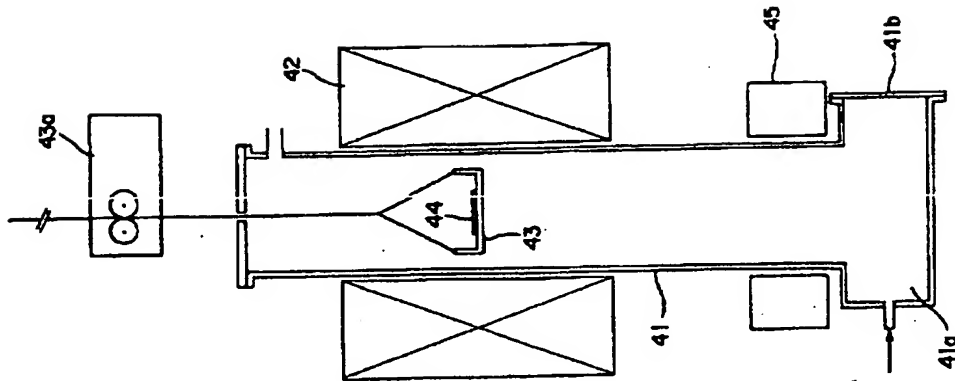
代理人

弁理士 谷 巖 一

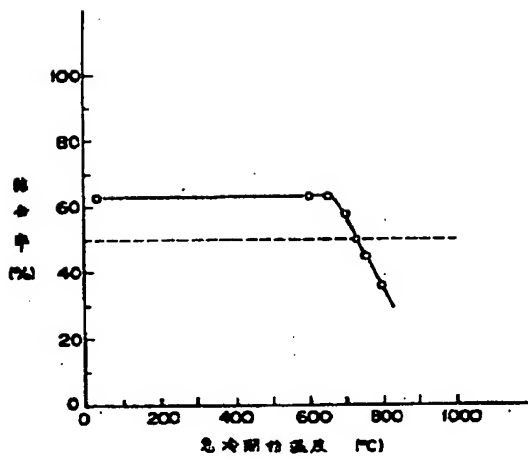


第 1 図

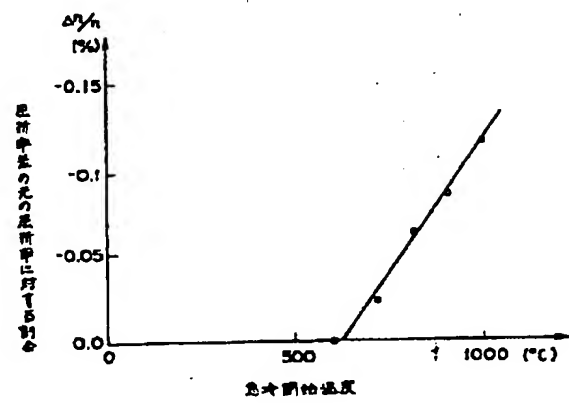
特開平3-267902(16)



第 2 図

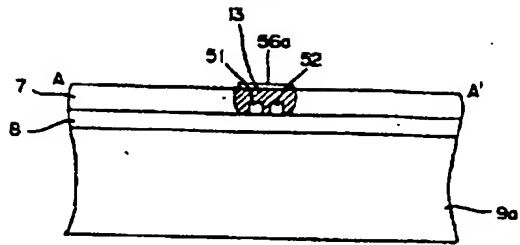
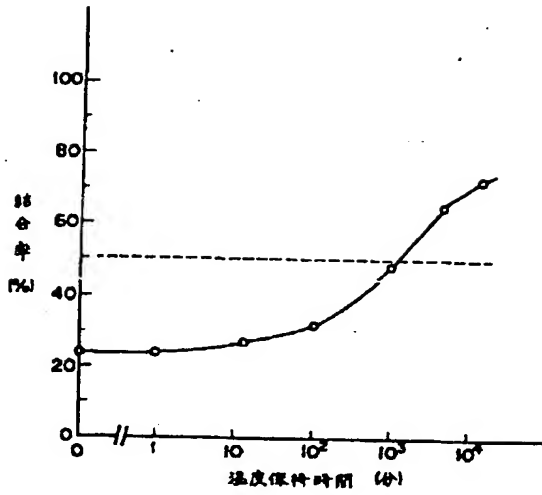


第 3 図



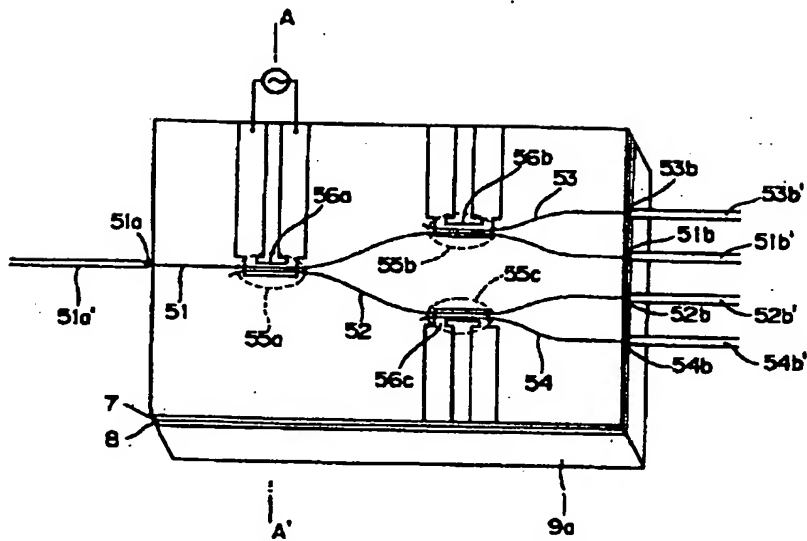
第 4 図

特開平3-267902 (19)



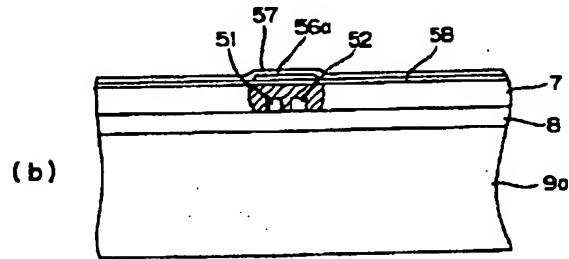
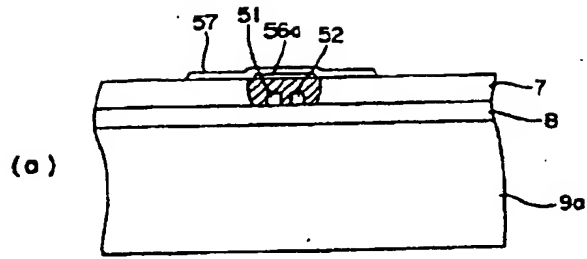
第 7 図

第 5 図

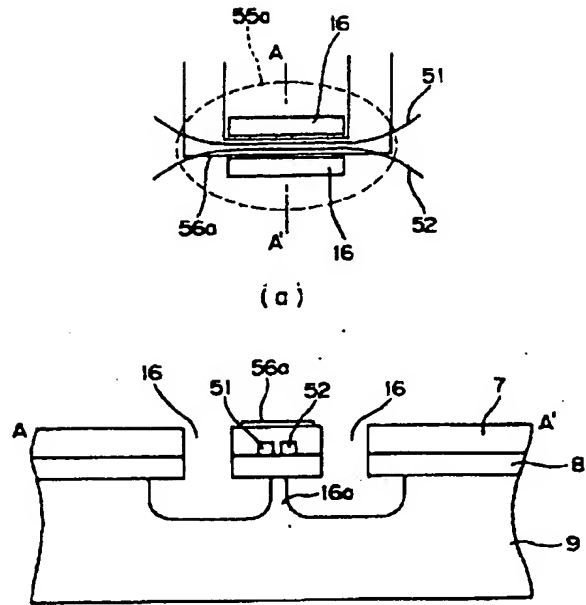


第 6 図

特開平3-267902 (20)

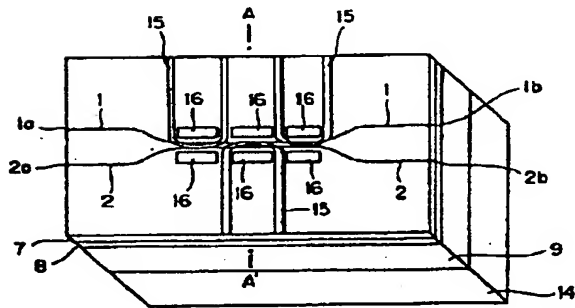


第 8 図

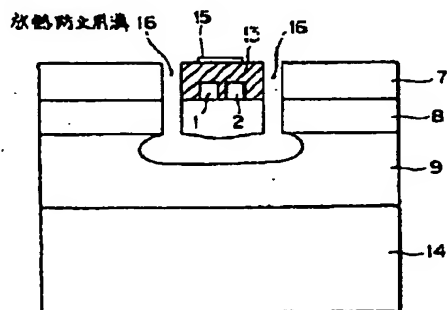


(b)

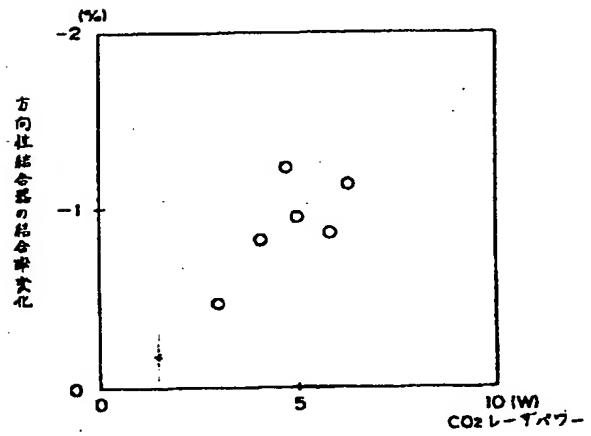
第 9 図



第 10 図

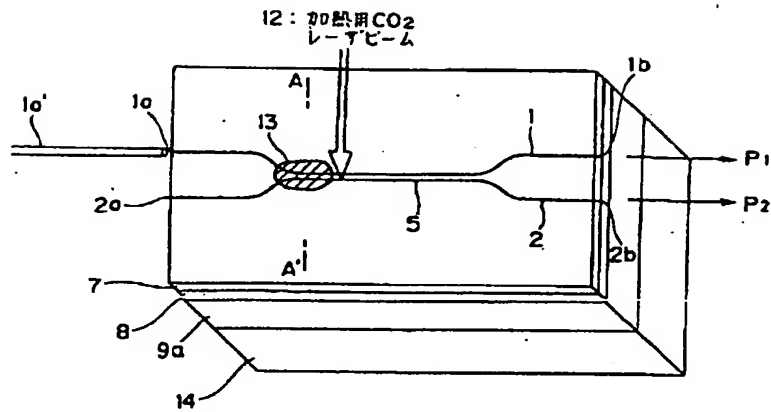


第 11 図



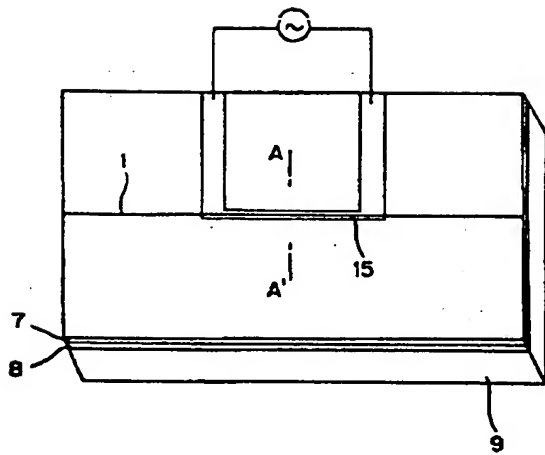
第 13 図

特開平3-267902(21)

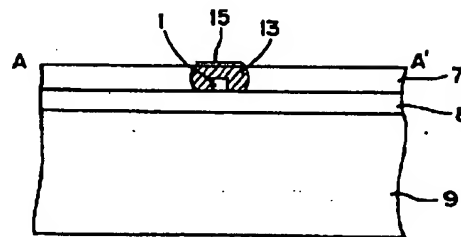


- 1, 2 : 単一モード光導波路 (コア部)
 1a, 2a : 入力ポート
 1b, 2b : 出力ポート
 1a' : 入力ファイバ
 5 : 導波路並方向結合器

第 12 図

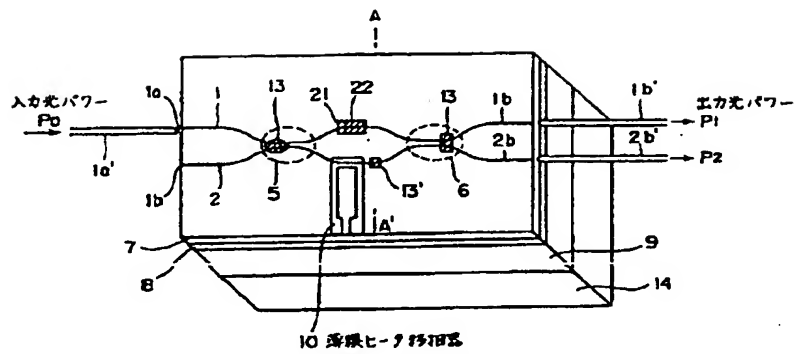


第 14 図

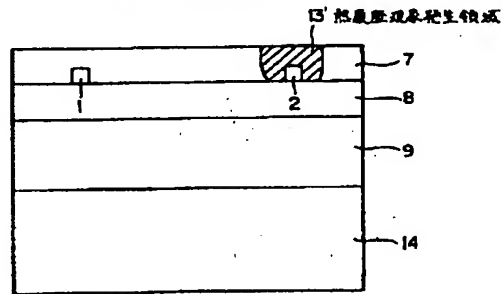


第 15 図

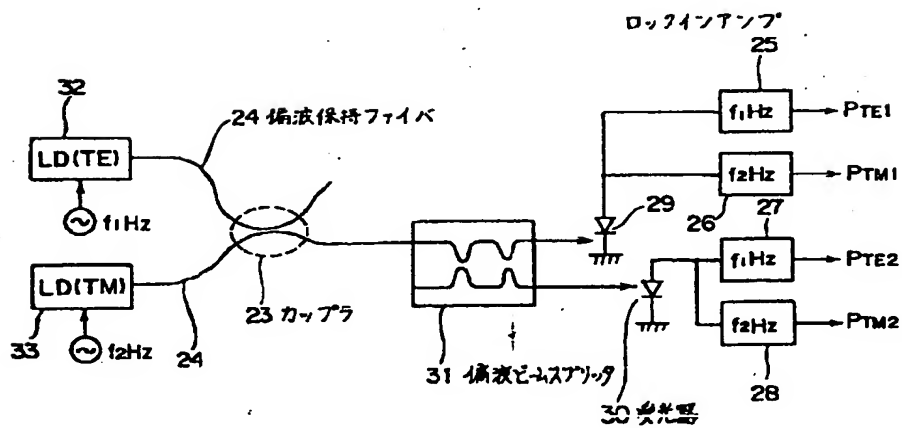
特開平3-267902(22)



第 16 図

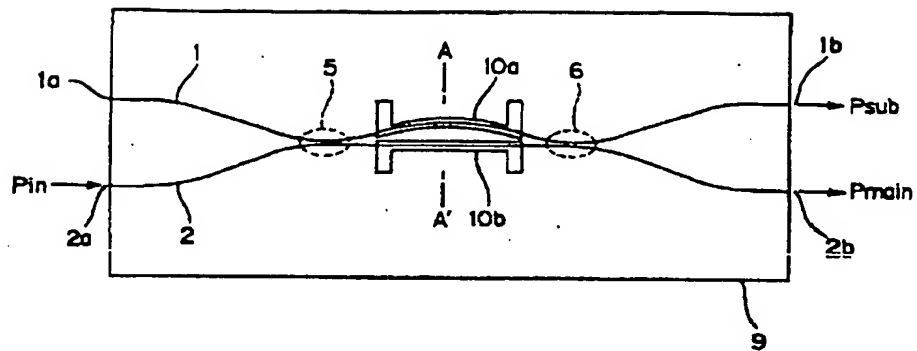


第 17 図

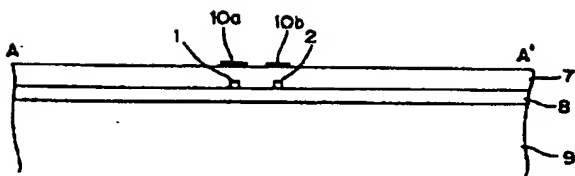


第 18 図

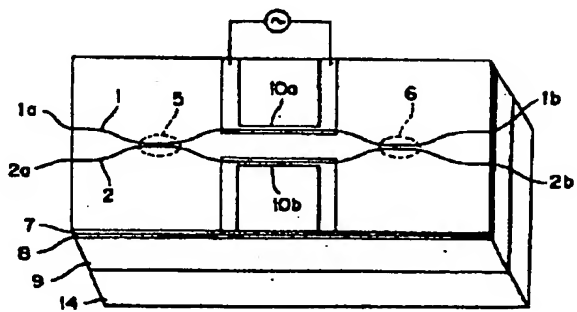
特開平 3-267902 (28)



第 19 図

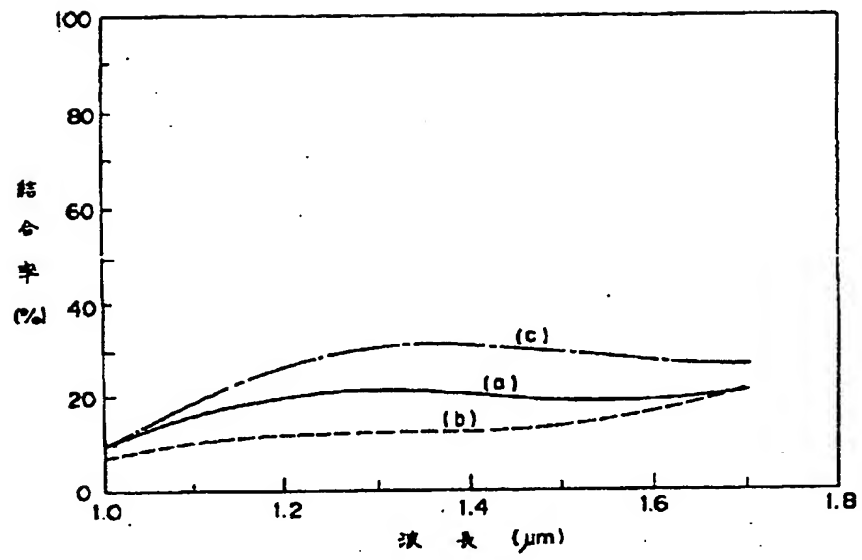


第 20 図

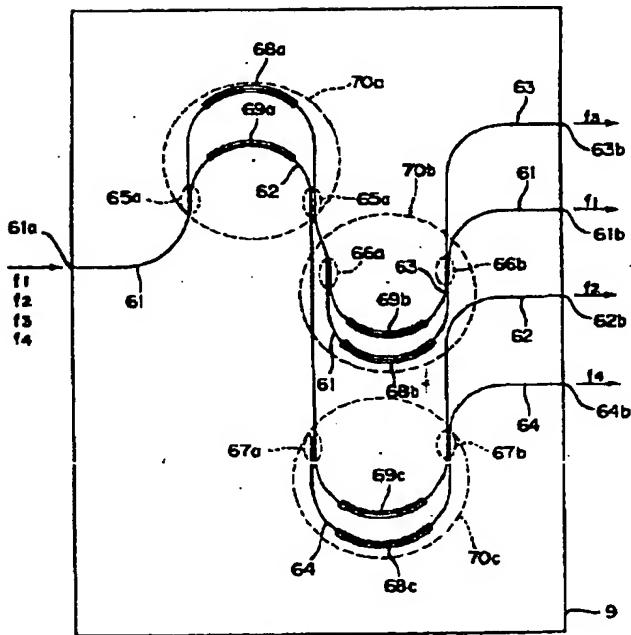


第 22 図

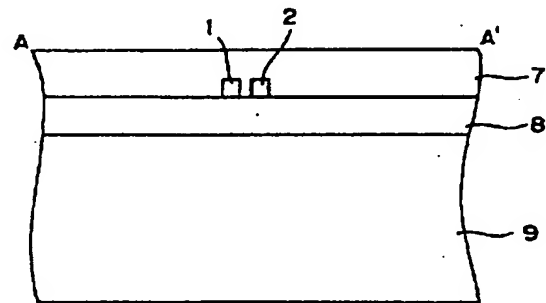
特開平3-267902(24)



第 21 図

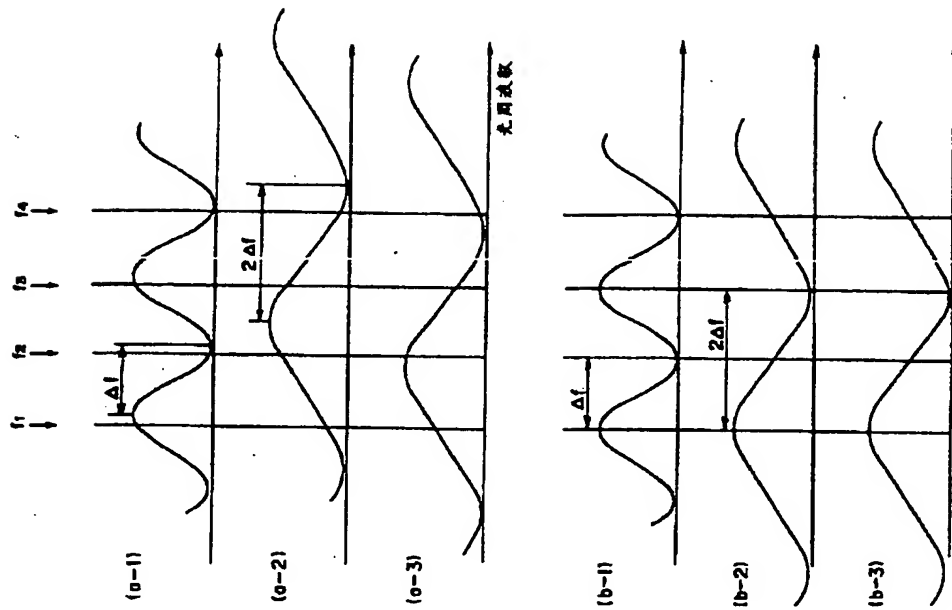


第 23 図

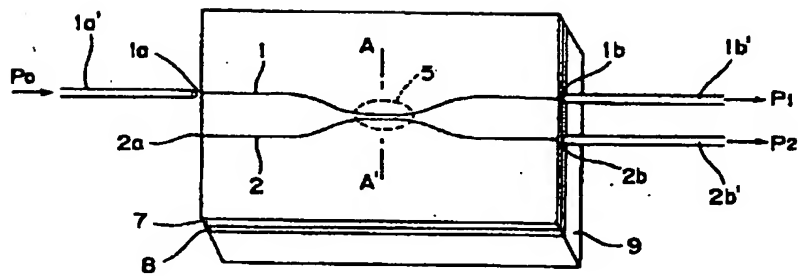


第 26 図

特開平3-267902(25)

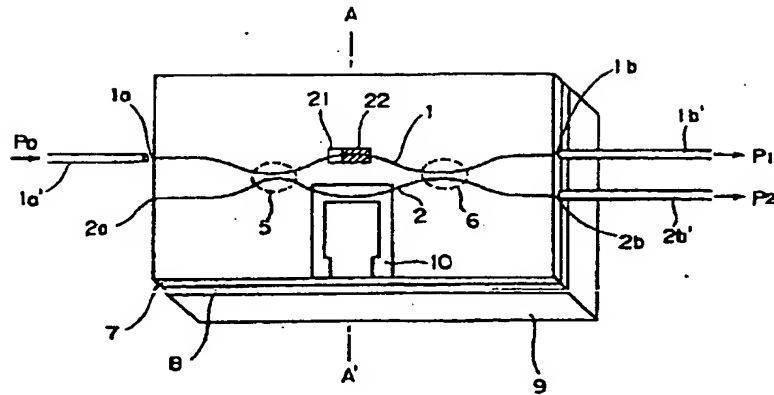


第 24 図



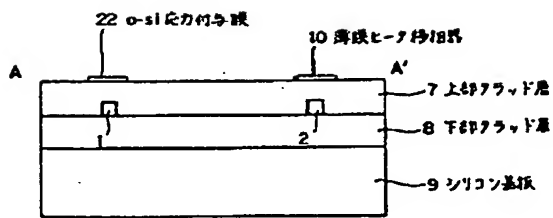
第 25 図

特開平3-267902(26)

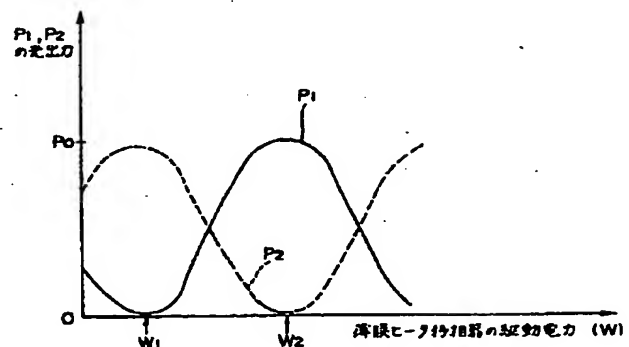


- 1, 2 : 単一モード光導波路(コア部)
 1a, 2a : 入力ポート
 1b, 2b : 出力ポート
 1a', 2a', 1b', 2b' : 入出力ファイバ
 5, 6 : 導波路型方向性結合器

第 27 図



第 28 図



第 29 図